



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 199 04 561 C 1

⑤⑦ Int. Cl. 7:
H 02 N 6/00
H 01 L 31/042
H 02 M 3/00

②① Aktenzeichen: 199 04 561.5-32
②② Anmeldetag: 4. 2. 1999
④③ Offenlegungstag: -
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 24. 8. 2000

DE 199 04 561 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Forschungszentrum Rossendorf e.V., 01474
Schönfeld-Weißig, DE

⑦② Erfinder:
Rindelhardt, Udo, Dr., 01189 Dresden, DE;
Teichmann, Günther, 01326 Dresden, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 195 15 786 C2
DE 195 02 762 A1
DE 43 25 436 A1
DE 40 17 860 A1

Pfeiffer, H. und Fett, F.N.: Solarzellen-Versuchs-
Anlage. In: Messen prüfen automatisieren Juli/
August 1985, S.384-390;
Sakulin, M.: Die Problematik bei der photo-Voltai-
schen Stromeinspeisung ins öffentliche Netz. In:
e&i 1992, H.7/8, S.373-379;
JP-181907 A. In: Pat. Abstr. of Jap. Aeberhard, M.:
Solargeneratoren unter Kontrolle. In: TR Transfer
Nr.14, 1996, S.38-39;
Günther, Wirtz: Endbericht: Meßtechnische Unter-
suchungen an Systemkomponenten
photovoltaischer
Stromerzeugersysteme, Forschungsstelle für Ener-
giewirtschaft, München 1994, S.112-114;

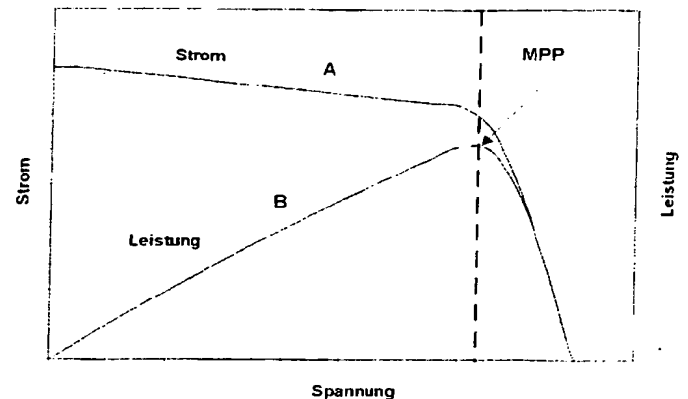
⑤④ Verfahren und Schaltungsanordnung zur Maximum-Power-Point-Steuerung von Solargeneratoren

⑤⑦ Aufgabe der Erfindung ist es, die MPP-Steuerung eines
Solargenerators mittels eines Sensors zeitnah, mit gerin-
gem technischen Aufwand und ohne Unterbrechung der
Energieabgabe vorzunehmen.

Für das Verfahren wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß
ein vom Solargenerator elektrisch isolierter Sensor einge-
setzt wird, daß quasikontinuierlich die Stromkennlinie
des Sensors in an sich bekannter Weise bestimmt wird,
daß aus der Stromkennlinie in bekannter Weise die Lei-
stungskennlinie berechnet wird und daß aus deren Maxi-
mum quasikontinuierlich die Regelgröße für den Wandler
abgeleitet wird. Der Sensor ist ein Solarmodul des Typs
und der Charge, wie die den Solargenerator bildenden
Solarmodule.

Die Schaltungsanordnung beinhaltet, daß als Sensor (3)
ein Solarmodul eingesetzt ist, das vom gleichen Typ wie
die im Solargenerator (1) verwendete Solarmodule ist
und daß zwischen Sensor (3) und Wandlersteuerung eine
Kennlinienmessung (4) und ein Mikrorechner (5) zur Er-
mittlung der Regelgröße des Wandlers (2) eingeschaltet
sind.

Der Sensor (3) wird vorteilhafterweise analog dem Solar-
generator (1) angeordnet.



DE 199 04 561 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Maximum-Power-Point-Steuerung von photovoltaischen Solargeneratoren.

Es ist allgemein bekannt, daß aus photovoltaischen Solargeneratoren die maximale Leistung nur entnommen werden kann, wenn der Generator in einem bestimmten Arbeitspunkt, dem Maximum Power Point nachfolgend als MPP bezeichnet, betrieben wird. Der MPP hängt bei jedem Generator von den jeweiligen äußeren Betriebsbedingungen, insbesondere der aktuellen Bestrahlungsstärke und der Temperatur der Solarzellen ab. Da sich diese Parameter im praktischen Betrieb ständig ändern können, ist zur maximalen Energiegewinnung eine kontinuierliche Nachführung des aktuellen Arbeitspunktes zum jeweiligen MPP erforderlich.

Ein weit verbreitetes Verfahren zur Gewährleistung des Betriebes eines Solargenerators im MPP ist das sogenannte MPP-Tracking (B. Günther, G. Wirtz, Iindbericht: Meßtechnische Untersuchungen an Systemkomponenten photovoltaischer Stromerzeugersysteme, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München 1994, S. 112-114; Sakulin, M.: Die Problematik bei der photo-Voltaischen Strom einspeisung ins öffentliche Netz, e&E 1992, II, 7/8, S. 373-379; Acherland, M.: Solargeneratoren unter Kontrolle, TR Transfer Nr. 14, 1996, S. 38-39). Dabei wird durch den dem Solargenerator nachgeschalteten DC-DC-Steller bzw. DC-AC-Wandler nach einem vorgegebenen Zeitregime der aktuelle Arbeitspunkt des Generators (bestimmt durch Strom und Spannung) verlassen und geprüft, ob an einem anderen Arbeitspunkt dem Generator eine höhere Leistung entnommen werden kann. Ist dies nicht der Fall, so wird der Generator weiterhin im bisherigen Arbeitspunkt betrieben. Andernfalls erfolgt eine Änderung des Arbeitspunktes durch Anfahren des neuen MPP. Als Nachteil dieses Verfahrens gilt, daß während der Regelung sowie bei Betrieb im festen Arbeitspunkt bei sich ggf. gleichzeitig ändernden äußeren Bedingungen dem Generator nicht die maximal mögliche Leistung entnommen werden kann.

Es ist auch ein Verfahren bekannt, nach dem der MPP eines Solargenerators durch eine schnelle Messung seines Kurzschlußstromes und der Leerlaufspannung sowie Vergleich dieser Werte mit gespeicherten Kennlinien ermittelt wird (DE-OS 43 25 436). Abgesehen von der durch die galvanische Netztrennung technisch aufwendigen Messung von großen DC-Strömen setzt dieses Verfahren die genaue Kenntnis der Generator kennlinien voraus. Zudem wird für die Zeitdauer der Messung von Kurzschlußstrom und Leerlaufspannung die Energieabgabe vom Solargenerator unterbrochen.

Ferner ist ein Verfahren bekannt, bei dem durch eine spezielle Schaltung des Solargenerators in zwei identische Teilgeneratoren sowie durch Vergleich der von den Teilgeneratoren gelieferten Ströme eine MPP-Regelung vorgenommen wird (DE-PS 195 15 786). Nachteilig an diesem Verfahren ist die Notwendigkeit, zwei elektrisch identische Teilgeneratoren zu montieren. Auch die Steuerung des MPP eines Solargenerators mittels eines unabhängigen Sensors, der der gleichen Strahlung wie der Solargenerator ausgesetzt ist, ist bekannt (DE 195 02 762 A1; Pfeiffer, H. und Fett, F. N.: Solarzellen-Versuchs-Anlage, Messen prüfen automatisieren, Juli/August 1985, S. 384-390). Eine andere bekannte Möglichkeit besteht in der Steuerung nach der gemessenen Modultemperatur (B. Günther, G. Wirtz, a. a. o.). Nachteil der beiden letztgenannten Verfahren ist, daß nur jeweils ein den MPP bestimmender Parameter zur Steuerung benutzt wird. Zudem erfordern beide Möglichkeiten Kenntnisse bzw. Berechnungen des Kennlinienfeldes des Solargenerators.

In DE 40 17 860 A1 werden die beiden vorstehend angeführten Verfahren kombiniert durch einen Mikrorechner ergänzt. Die Ermittlung des MPP erfolgt zunächst auf konventionelle Weise. Die Daten des so gefundenen MPP werden zusammen mit den Werten der Einstrahlung und der Temperatur im Mikrorechner abgespeichert. Nach einer gewissen Lernzeit besitzt der Mikrorechner genügend Wertepaare, so daß danach die Bestimmung des MPP allein auf der Basis der gespeicherten Werte der Einstrahlung und der Temperatur erfolgen kann. Der Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, daß Änderungen der Kennlinie des Solargenerators, z. B. durch Alterung oder Verschmutzung, nicht erkannt werden und somit bei Eintreten dieser Umstände der auf Basis von Einstrahlung und Temperatur gespeicherte MPP-Wert vom tatsächlich vorhandenen MPP-Wert abweicht.

In JP-181907 A wird der von der Referenzzelle über einem Widerstand erzeugte Spannungsabfall genutzt, um durch Vergleich mit zuvor ermittelten Werten einen Sollwert für das MPP-Tracking zu erhalten. Dabei ist nachteilig, daß lediglich durch Messung des Spannungsabfalls über einem festen Widerstand weder der MPP der Referenzzelle noch der MPP des Solargenerators eindeutig bestimmbar sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, die MPP-Steuerung eines Solargenerators mittels eines Sensors zeitnah, mit geringem technischen Aufwand und ohne Unterbrechung der Energieabgabe vorzunehmen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die in den Patentansprüchen aufgeführten Merkmale gelöst.

Der Vorteil der Erfindung liegt gegenüber den bisher üblichen Verfahren darin, daß der MPP des Solargenerators quasikontinuierlich und unabhängig vom aktuellen Arbeitspunkt des Solargenerators ermittelt werden kann. Dies geschieht im Wesentlichen dadurch, daß durch den gewählten, vom Solargenerator elektrisch getrennten Sensor sowohl die aktuelle, auf den Solargenerator wirkende Bestrahlungsstärke, als auch die Temperatur des Solargenerators bzw. der Solarzellen korrekt berücksichtigt wird. Auch bei schnellen Änderungen der Bestrahlungsstärke, z. B. infolge Durchzug von Wolkenfeldern, kann der Solargenerator faktisch ständig im MPP betrieben werden und damit energetische Verluste durch Betrieb des Solargenerators in vom MPP abweichenden Arbeitspunkten ausgeschlossen werden. Die Kennlinienmessung des Sensors kann nach bewährten Verfahren (elektronisch oder kapazitiv veränderliche Belastung) einfach durchgeführt werden. Kenntnisse über die Kennlinienfelder der den Solargenerator bildenden Module sind nicht erforderlich, d. h. auch bei produktionsbedingten Abweichungen der Modulparameter der eingesetzten Charge ist ein optimaler MPP-Betrieb des Solargenerators nach der Erfindung möglich.

Die Erfindung wird nachfolgend an je einem Ausführungsbeispiel für das Verfahren und die Schaltungsanordnung näher erläutert.

In der zugehörigen Zeichnung zeigen

Fig. 1 die Kennlinien des Sensors,

Fig. 2 die Schaltungsanordnung zur MPP-Steuerung in ihrer Grundform.

Nach dem Verfahren werden die Werte zur Bestimmung des MPP des Photovoltaik-Generators, nachstehend als PV-Generator bezeichnet, aus einem speziellen Sensor gewonnen. Dieser besteht aus Zellmaterial derselben Charge wie der energieliefernde PV-Generator und ist bezüglich seiner optischen und thermischen Eigenschaften in gleicher Weise wie die Module des PV-Generators verarbeitet und montiert. Er ist im einfachsten Fall ein PV-Modul aus der Lieferung des PV-Generators. Dieses Sensormodul wird innerhalb des Solargenerators, jedoch elektrisch isoliert, angebracht. Damit wirken alle den MPP des PV-Generators beeinflussenden

den Größen (Bestrahlung, Temperatur, Staub, usw.) in gleicher Weise auf die Kennlinie des Sensors. Kern des Verfahrens ist die vom aktuellen Arbeitspunkt des PV-Generators unabhängige und quasikontinuierliche Messung der Kennlinie des Sensors. Diese wird innerhalb von ca. 1 ms aufgenommen. Sie ist in Fig. 1 als Kurve A dargestellt. Daraus wird die Leistungskennlinie (Kurve B) berechnet. Im nächsten Schritt wird durch Bestimmung des Leistungsmaximums die MPP-Spannung des Sensors (Punkt MPP) ermittelt. Dieses Verfahren wird im Abstand von beispielsweise 1 Sekunde wiederholt.

Die Anpassung der Sensormeßgröße MPP-Spannung an die Regelgröße für den PV-Generator erfolgt durch Vergleich der in Reihe geschalteten Solarzellenanzahlen von Sensor und PV-Generator. Die so ermittelte Regelgröße wird dem Wandler in geeigneter Form übergeben, der den Solargenerator seinerseits auf den MPP einstellt. Die Regelgröße wird gegebenenfalls entsprechend der Meßfrequenz auf einen neuen Wert eingestellt.

Die Schaltungsanordnung ist in Fig. 2 dargestellt. Der PV-Solargenerator 1 ist in üblicher Weise mit dem DC-DC-Wandler 2 verbunden. Über eine Steuerung im Innern des Wandlers 2 wird der Arbeitspunkt des PV-Solargenerators eingestellt, was z. B. durch eine Impulsbreitensteuerung realisiert wird.

Erfindungsgemäß wird die Regelgröße für diese Steuerung aus den verarbeiteten Meßsignalen des Sensors 3 gewonnen. Dazu wird der Sensorausgang über eine Kennliniennmessschaltung 4 mit einem Mikrorechner 5 verbunden. Die Kennliniennmessschaltung 4 enthält als zeitgesteuertes Belastungselement einen Feldeffekttransistor sowie Multiplexer, ADC und DAC. Durch den Mikrorechner 5 werden der Drain-Source-Widerstand des Feldeffekttransistors innerhalb von 1 ms von Unendlich bis Null durchfahren und gleichzeitig Strom und Spannung des Sensors alle 50 µs gemessen. Der Mikrorechner 5 steuert über die genannten Baugruppen sowohl die Kennliniennmessung als auch die Berechnung des MPP und nimmt die Taktung der Schaltung vor. Dazu ist eine Firmware-Programm-Steuerung über einen PROM am Mikrorechner 5 installiert. Aus der ermittelten MPP-Spannung des Sensors 3 wird die aktuelle MPP-Spannung des PV-Generators bestimmt. Dieses Ergebnis ist definiert durch das Verhältnis der in Reihe geschalteten Solarzellenanzahl im Sensor 3 und im PV-Generator. Unter Berücksichtigung des Übertragungsfaktors des Wandlers 2 berechnet der Mikrorechner 5 die Regelgröße und überträgt diese über einen DAC an den Wandler 2, der die Einstellung des MPP des PV-Solargenerators vornimmt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Maximum-Power-Point-Steuerung von Solargeneratoren, wobei der Arbeitspunkt des Solargenerators durch einen Wandler festgelegt wird, quasikontinuierlich die Stromkennlinie eines vom Solargenerator elektrisch isolierten Sensors gleichen Typs und gleicher Charge wie die im Solargenerator verwendeten Solarmodule bestimmt wird, aus der Stromkennlinie die Leistungskennlinie berechnet wird und aus deren Maximum quasikontinuierlich die Regelgröße für den Wandler abgeleitet wird.
2. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, wobei ein Sensor und ein Wandler mit einer Steuerung verwendet werden und der Wandler zwischen dem Solargenerator und der Last angeordnet ist, und wobei zwischen Sensor (3) und Wandlersteuerung eine Kennliniennmessung (4) und ein

Mikrorechner (5) zur Ermittlung der Regelgröße des Wandlers (2) eingeschaltet sind.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2, wobei der Sensor konstruktiv im oder unmittelbar neben dem Solargenerator in gleicher Weise wie die den Solargenerator bildenden Solarmodule angebracht ist.

4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2 oder 3, wobei das den Sensor bildende Solarmodul nur aus einer Solarzelle besteht.

5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2 oder 3, wobei das den Sensor bildende Solarmodul aus wenigen Solarzellen besteht.

6. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei die Kennliniennmessung (4) und der Mikrorechner (5) integraler Bestandteil des den Arbeitspunkt des Solargenerators (1) festlegenden Wandlers (2) ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

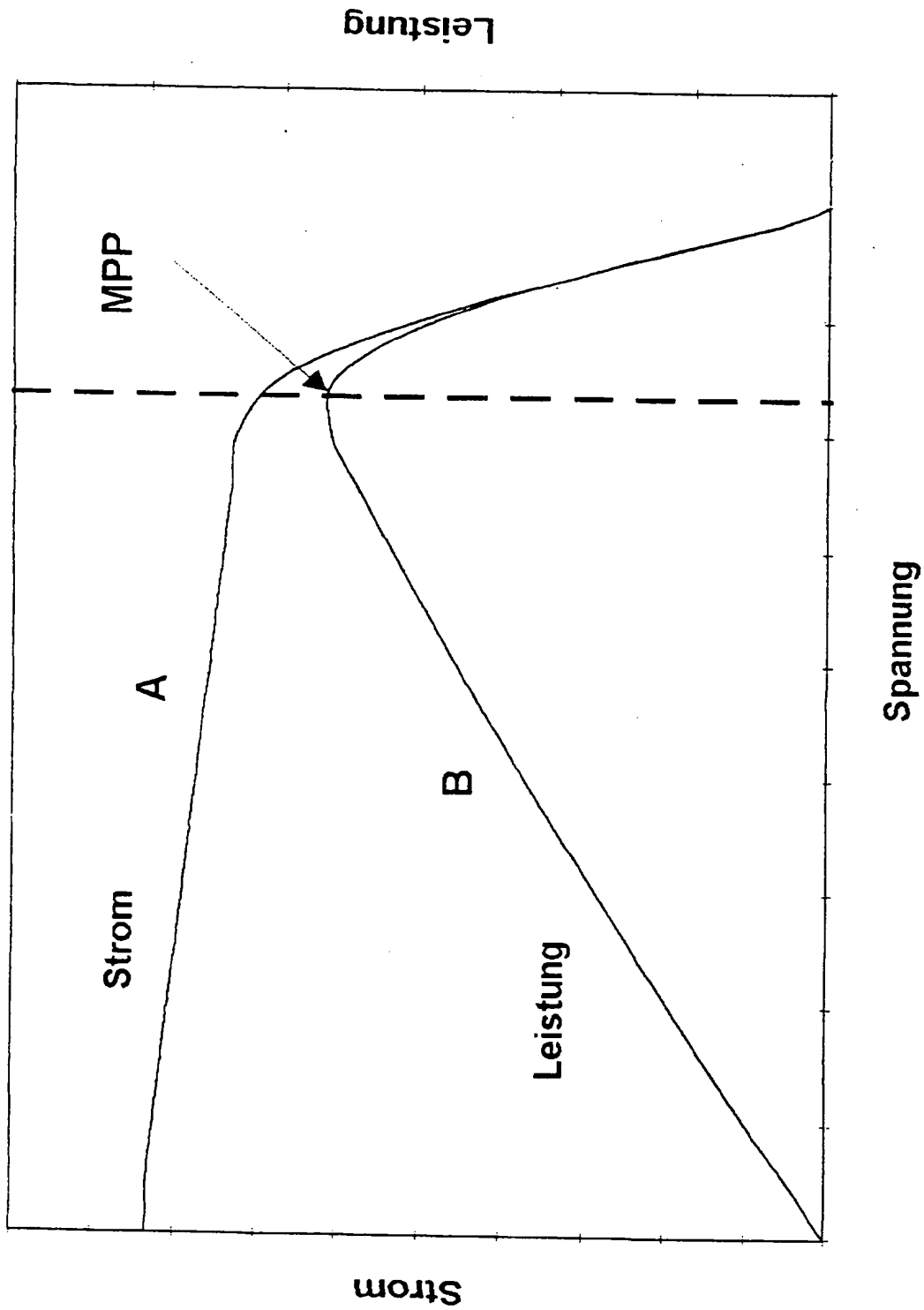


Fig.1

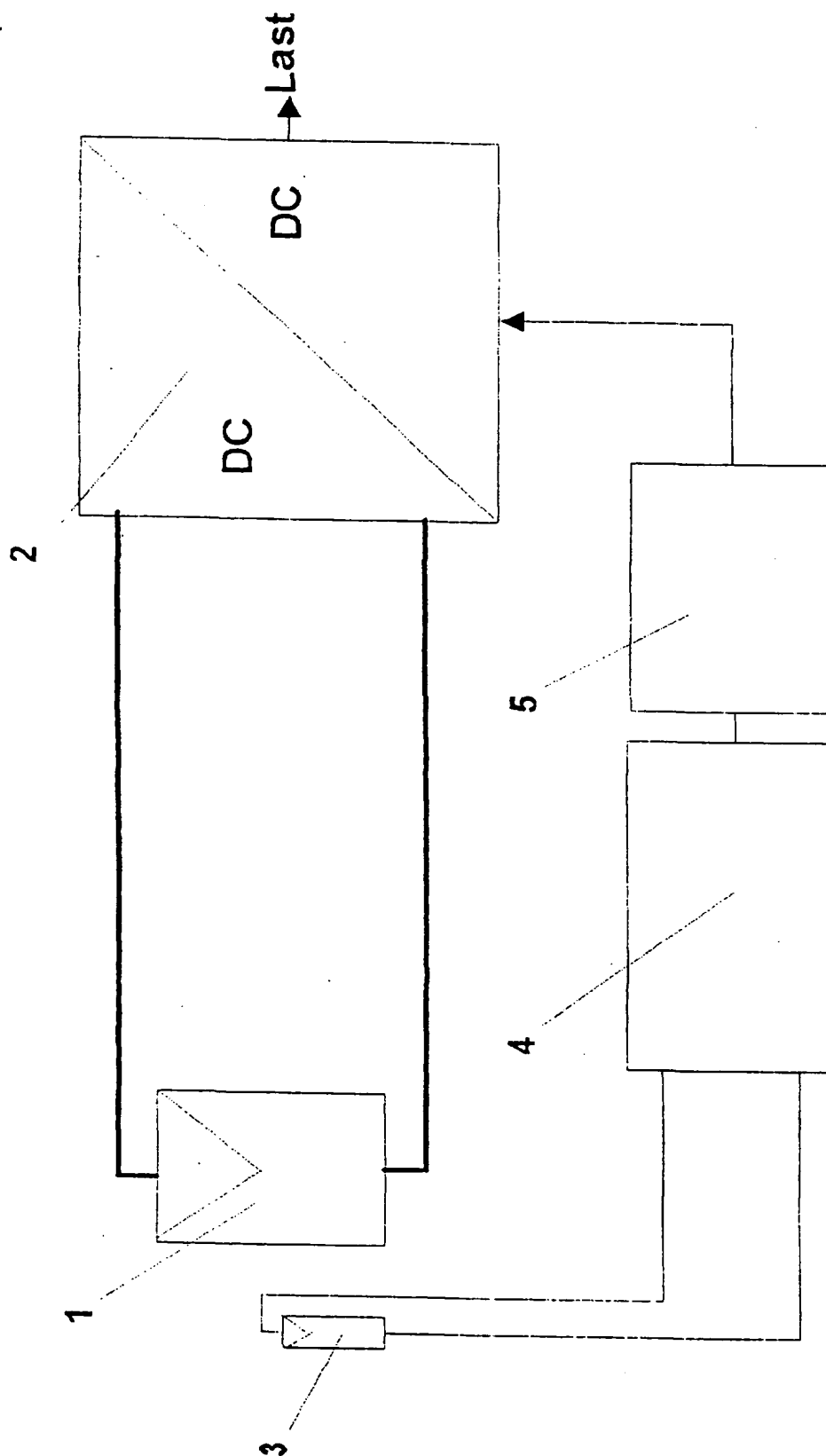


Fig.2